

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en ultisoles de Sarapiquí, Costa Rica tomando como referencia el bosque secundario

Greenhouse gas (GHG) emissions derived from two types of fertilization of pineapple crops (*Ananas comosus*) in ultisols from Sarapiquí, Costa Rica, taking the secondary forest as reference

Sofía Coto Brenes

Universidad Nacional, Costa Rica.
socobre5@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2252-0045

DOI: <http://doi.org/10.15359/prne.19-37.3>

Jorge Herrera Murillo

Universidad Nacional, Costa Rica.
jorge.herrera.murillo@una.ac.cr
ORCID: 0000-0003-4660-0178

Wagner Peña Cordero†

Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.
wpena@uned.ac.cr
ORCID: 0000-0002-4678-0503

Recibido: 31/05/2021 Aceptado: 22/06/2021 Publicado: 30/06/2021

Dedicado a mi querido amigo y mentor Wagner Peña,

Agradecida eternamente por la oportunidad de haberte conocido y de compartir este viaje a través del conocimiento. Sofía Coto Brenes

Resumen

La producción del cultivo de la piña ha aumentado significativamente en el país en los últimos años y, por consiguiente, el uso de agroquímicos utilizados, ocasionando cambios físicos, químicos y biológicos en los suelos, además de la generación de emisiones

de gases de efecto invernadero (GEI). En el presente trabajo se evaluaron las emisiones de GEI generados por dos tipos diferentes de fertilización del cultivo de piña en plantaciones con suelos ultisoles ubicados en Sarapiquí, Costa Rica. Para el análisis se delimitaron tres sitios (plantaciones con dos tipos de fertilización y un sitio de referencia = bosque secundario)

mediante la definición de dos parcelas de 20 × 40 m, subdivididas en subparcelas de 20 × 20 m. Las muestras de gases se recolectaron por medio de dos técnicas: cámara estática y analizador de gases continuo (LGR), durante la época seca y época lluviosa en los años 2018 y 2019. Los flujos de CO₂ medidos registraron una correlación positiva con el contenido de materia orgánica y la concentración de carbono en el suelo, la cual varió ligeramente entre las épocas. Los flujos de N₂O variaron entre épocas, y resultaron mayores en la parcela con manejo orgánico durante la época lluviosa (11 a 161 mgm⁻²d⁻¹) y el bosque secundario en época seca (3 a 76 mgm⁻²d⁻¹). La fertilización convencional se caracterizó por generar suelos con menor cantidad de materia orgánica, carbono y humedad, disminuyendo la actividad microbiana, situación que produce mayores emisiones de GEI.

Palabras clave: mitigación, flujos de emisión, agricultura, piña, Sarapiquí.

Abstract

Pineapple production in Costa Rica increased significantly in the last years, impacting agrochemical usage, which cause greenhouse

gas emissions, as well as physical, chemical, and biological changes in the soil. This project evaluates the GHG emissions generated by two different types of fertilization of pineapple crops in ultisol soils in Sarapiquí, Costa Rica. Samples were collected in three different locations delimited by two 20 x 40 m plots, which were also subdivided into two 20 x 20 m subplots. Gas samples were collected using two techniques: static chamber and continuous gas analyzer (LGR), during both dry and rainy seasons in 2018-2019. The measured CO₂ fluxes registered a positive correlation with organic matter content and carbon concentration in the soil, which varied slightly between seasons. N₂O fluxes also varied between seasons, with organic management registering higher data (11 to 161 mgm⁻²d⁻¹) in the rainy season and the forest in the dry season (3 to 76 mgm⁻²d⁻¹). Conventional fertilization was characterized by soils with less organic matter, carbon, and moisture, which reduces the microbial activity, a situation that produces higher GHG emissions.

Keywords: mitigation, emission fluxes, agriculture, pineapple crops, Sarapiquí.

Introducción

El cultivo de la piña es de importancia económica en el país debido a su alta demanda en los mercados internacionales. En el año 2018, ocupó el segundo lugar en la exportación total de productos del sector agrícola en Costa Rica, con un 34.9% del valor exportado para fruta fresca, y presentó un incremento del 1.9% con respecto al periodo anterior (SEPSA, 2020). De acuerdo con la herramienta de monitoreo de cambio de uso de la tierra en paisajes productivos vinculados a su tenencia (MOCCUP), en el país existen alrededor de 65 670 ha dedicadas al cultivo de piña (Sánchez, 2019). La principal región productora del país es la Huetar Norte, la cual concentra un 67.3%

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

de la distribución regional del cultivo (44 193 ha). Los cantones de esta región donde existen mayores extensiones son: San Carlos, Los Chiles, Sarapiquí y Río Cuarto. De estos, Sarapiquí ocupa el tercer lugar en área sembrada de piña en Costa Rica, con 6 202.50 ha (Vargas, *et al.*, 2020). El crecimiento del cultivo implica una mayor aplicación de sustancias químicas para proteger la fruta de plagas, mejorar su calidad y acelerar el proceso de crecimiento con el fin de cumplir con los estándares que exige el mercado internacional (Echeverría, *et al.*, 2012). Según un estudio realizado por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET, 2016), el cultivo de piña a nivel nacional utiliza en promedio 44 kg de agroquímicos por hectárea al año. Estas plantaciones consumen tanto fertilizantes nitrogenados (N) como potásicos (K₂O). Por lo tanto, este monocultivo podría contribuir a la degradación ambiental, incluida la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por plaguicidas y nitratos, además de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Esta situación ha ocasionado conflictos tanto sociales como ambientales, derivados de la contaminación de fuentes de agua y la exposición a plaguicidas de las comunidades cercanas (Valverde, *et al.*, 2016).

La expansión y aumento de la superficie sembrada de un monocultivo influye en las emisiones de GEI, ya que algunas prácticas como la labranza, quema, y aplicación de fertilizantes afectan la producción de los gases, ya que el suelo cumple una función muy importante en la regulación de la composición gaseosa de la atmósfera por medio de los ciclos biogeoquímicos. De acuerdo con la FAO, la expansión de la agricultura industrial es responsable del 70-90% de la deforestación global y al menos la mitad de estos cultivos son de exportación, lo que significa que la contribución de la agricultura a la deforestación es responsable del 15-18% de las emisiones globales de GEI (Scherr, *et al.*, 2012).

La concentración de GEI en la atmósfera ha aumentado considerablemente en las últimas cuatro décadas. Las emisiones antropogénicas de GEI totales en el periodo del 2000 al 2010 fueron las más altas en la historia de la humanidad y llegaron a 49 (± 4,5) GtCO₂eq/año en el 2010. En la agricultura, los GEI que más se producen son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (Schaufler *et al.*, 2010). La formación de CO₂ se atribuye al cambio de uso del suelo y al agotamiento de los depósitos de carbono en el mismo. El N₂O, por su parte, se forma por variaciones en los procesos microbianos aerobios y anaerobios, debido a condiciones específicas del sitio (contenido de agua, aireación, contenido de nitrato y amonio, temperatura, disponibilidad de sustratos orgánicos y pH). En cuanto al metano, los suelos

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...

Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



agrícolas con buenas condiciones de aireación pueden generar este gas durante determinados períodos, dependiendo de las concentraciones de materia orgánica y del grado de compactación (Parrado, 2015).

Históricamente, la piña se ha cultivado bajo dos patrones de fertilización: convencional y orgánico. El cultivo de piña convencional tiene la característica de tener aplicaciones programadas de fertilizantes y plaguicidas. En un ciclo de producción se llevan a cabo entre 10 y 15 series de aplicación de fertilizantes, de 2 a 3 en herbicidas, de 2 a 3 en insecticidas líquidos para la planta, y de 6 a 8 de insecticidas líquidos para la flor. Debido a que el cultivo convencional se ha caracterizado por sus efectos negativos en el ámbito social y ambiental, se requieren tecnologías alternativas para aprovechar la radiación solar, que permitan la acumulación de biomasa para estimular las interacciones benéficas entre plantas y microorganismos, además de propiciar los procesos de ciclaje y disponibilización de nutrientes presentes en la materia orgánica (Sánchez-Navarro, *et al.*, 2019). Como respuesta a las necesidades anteriores, surge la agricultura orgánica, la cual tiende a disminuir el gasto económico en plaguicidas y fertilizantes sintéticos, ya que estos pueden ser sustituidos por bioplaguicidas y fertilizantes orgánicos. Asimismo, contribuye en la conservación del suelo ya que reduce la erosión, la pérdida de nutrimentos y la compactación. En el 2019, el valor de las exportaciones por concepto de piña certificada como “orgánica” fue de 13 697 millones de dólares mientras que el manejo convencional reportó 962 826 millones de dólares (SEPSA, 2020). La agricultura orgánica permite implementar una amplia gama de métodos para reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático. Diversos autores reportan que las emisiones de GEI de la agricultura orgánica resultan ser entre un 12-36% más bajas en comparación con la agricultura convencional (Niggli *et al.*, 2009; Sarauskis *et al.*, 2012).

En el presente trabajo de investigación, se evaluaron las emisiones de GEI generadas por dos tipos de fertilización en cultivos de piña: convencional y orgánico, estableciendo información base para la creación de posibles acciones de mitigación de GEI en el sector.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El experimento se desarrolló en el distrito Puerto Viejo de Sarapiquí. Esta región fue elegida por conveniencia debido a la cercanía de las fincas productoras con el Refugio de Vida Silvestre Lapa Verde. La zona de estudio se caracteriza por tener un promedio anual de precipitaciones de 4 000 mm. Registra una temperatura media de 26.1 °C, con una mínima de 20.7 °C y una máxima de 32.5 °C (datos de enero a diciembre del 2015) (Brenes, 2015). La zona tiene influencia de vientos alisios y por temporadas de depresiones tropicales y frentes fríos. Presenta elevaciones de 37 a 187 metros sobre el nivel del mar. Pertenecen a la Zona de Vida de Holdridge (1967): bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T). El área de estudio posee una taxonomía de suelos tipo ultisol: suelos ácidos, de cristalinidad 1:1 caolinítico y de baja fertilidad con respecto a otros de la región. También presenta régimen de humedad údico y relieve casi plano (Mata, *et al.*, 2013).

Selección de sitios de muestreo

En la presente investigación se seleccionaron dos fincas dedicadas al cultivo de piña; una con manejo convencional y otra orgánico; además, se incluyó un sitio de bosque ubicado cerca de las plantaciones, que funcionó como línea base para la realización de las comparaciones con un espacio sin afectación antropogénica significativa (Figura 1). En la Tabla 1 se muestran las características propias de los sitios de muestreo seleccionados para el presente estudio.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Tabla 1.

Características de los tres sitios de muestreo en Sarapiquí, Heredia

	Convencional	Orgánico	Bosque
Distrito		Puerto Viejo	
Coordenadas	10°30' 31.2" N 84°08' 38.4" O	10°28' 25.7" N 84°05' 23.3" O	10°30' 15.7" N 84°07' 27.9" O
Extensión	42 ha cultivadas	78 ha cultivadas	1039 ha bosque secundario
Antecedentes	Ganadería	ganadería y cultivo de plantas ornamentales	explotación forestal y ganadera
Variedad de piña	híbrida MD2	híbrida MD2	No aplica
Certificaciones	Global GAP	Programa Orgánico Nacional de los Estados Unidos (NOP-USDA) y la certificación costarricense del Reglamento Nacional N° 29782	No aplica
Frecuencia de aplicación de fertilizantes	Cada 10 o 12 días, utilizando <i>Spray Boom</i> .	Cada 15 días se aplican fertilizaciones a nivel foliar, utilizando <i>Spray Boom</i> y subsolador para el encamado	No aplica

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Previamente al establecimiento de los ensayos se realizaron entrevistas para conocer el manejo ejecutado en cada una de las fincas, y se obtuvo la siguiente información: tipo y dosis de agroquímicos que se utilizan en los sistemas, la frecuencia de las aplicaciones, el período del cultivo, entre otros datos. Además, se recopiló información para identificar elementos que pudieran influir en los resultados, tales como la presencia de fuentes puntuales de emisiones de GEI cercanas (Tablas 2 y 3).

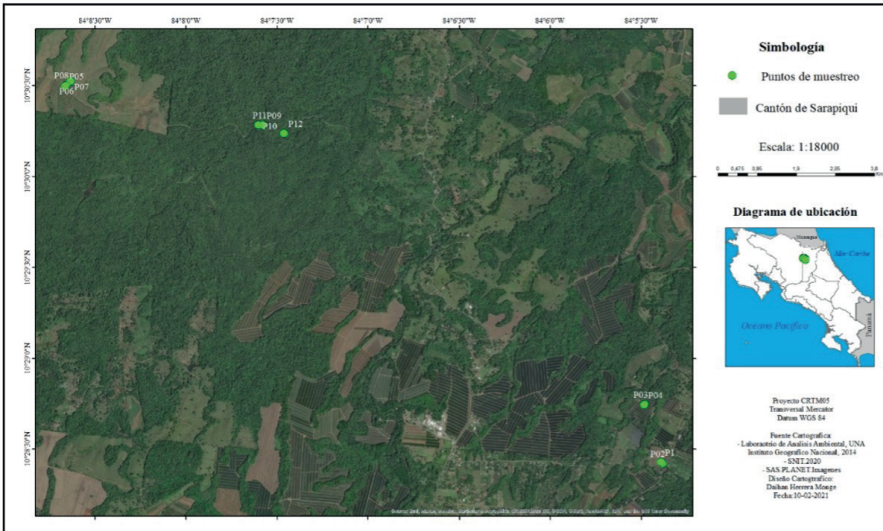
Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Figura 1.

Localización de los sitios de muestreo en las tres fincas en estudio, Sarapiquí, Heredia



Fuente: Herrera, 2020

Tabla 2.

Información referente a la aplicación de fertilizantes y otros insumos al cultivo convencional de piña durante las campañas de medición (2018-2019).

Muestreo	Número de semanas después de la siembra	Días después de la fertilización	Fórmula aplicada para fertilización foliar	Dosis (kg/ha)
1	16		Urea	45
			Nitrato de amonio	90
2	21	8	Sulfato de magnesio	100
			Fosfato monoamónico	50
3	37		<i>Tricoderma harzianum</i>	1
4	43		Hierro	25
			Sulfato de zinc	5

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Tabla 3.

Información referente a la aplicación de fertilizantes y otros insumos al cultivo orgánico de piña durante las campañas de medición (2018-2019).

Muestreo	Número de semanas después de la siembra	Días después de la última fertilización	Fórmula aplicada	Dosis (kg/ha)
1	19	11	<i>Bacillus thuringiensis</i>	1
			Pinolene	0.3
			Azufre	10
			Sulfato de magnesio	50
			Potasio	10 (l/ ha)
			Multicompost	150
2	24	18	Pinolene	0.3
			Extracto de ajo	0.4 (l/ha)
			Sulfato de cobre y cal hidratada	1
			Borato doble de sodio y calcio	6
			<i>Bacillus thuringiensis</i>	1
3	40	1	<i>Bacillus thuringiensis</i>	1
			Pinolene	0.3
			Pinolene	0.3
4	46	36	<i>Bacillus thuringiensis</i>	1
			Co-polimero de Polyeter y Silicona heptametiltrisiloxano	0.3
			Extracto de ajo	0.4 (l/ha)

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Muestreo y análisis de suelos

El periodo de muestreo se inició en octubre del 2018 y finalizó en mayo del 2019. Para recolectar muestras se delimitaron los tres sitios de estudio mediante el establecimiento de dos parcelas de 20 × 40 m, subdivididas en dos subparcelas de 20 × 20 m para conformar una muestra compuesta (Figura 2). En cada subparcela se tomaron muestras en tres puntos y se recolectaron submuestras de 500 g de suelo a una profundidad de 20 cm, utilizando un

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero

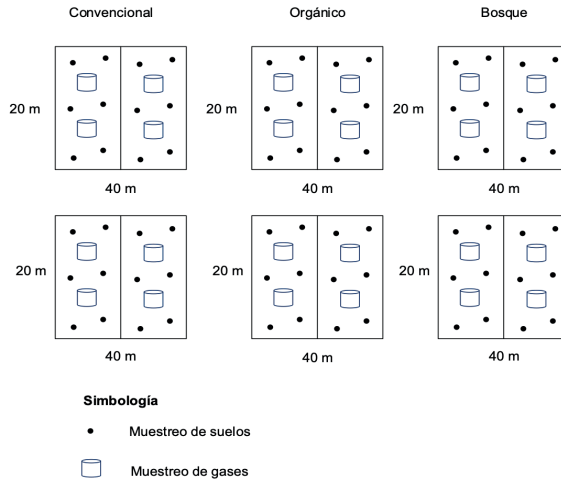


Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

barreno. Además, se tomaron dos muestras por cada sitio para determinación de densidad aparente con un cilindro muestreador.

Figura 2.

Esquema del diseño de muestreo utilizado en los tres tipos de manejo



Fuente: Elaboración propia, 2020.

A cada una de las muestras colectadas se les ejecutaron análisis fisicoquímicos, con el fin de determinar las propiedades de los suelos. Las metodologías utilizadas para cada parámetro evaluado se incluyen en la Tabla 4.

Tabla 4.

Metodología empleada para el análisis fisicoquímico de las muestras de suelos

Propiedad	Método
Textura	Método de Bouyoucos (Andrades, et al., 2015)
Densidad aparente	Metodología del cilindro de volumen conocido
pH	pH-metro en agua 1:25
K, Fe, Cu, Zn, P y Mn	Extracción con Olsen modificado
Acidez, Ca y Mg	Extracción de cloruro de potasio (KCl) 1 M
Porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno	Método de Dumas digestión seca (Gregorio, et al., 2016).
Respiración microbiana del suelo	Sensor Vernier de CO ₂

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Para determinar los procesos de mineralización, se relacionaron los valores de carbono total (MOS) y del C-CO₂ emitidos por la actividad microbiana. Lo anterior se estableció relativamente (%) utilizando la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{(\%)\text{C-CO}_2\text{microbiano}}{\text{C}_{\text{total}}}\right) * 100 \quad [1]$$

Muestreo y medición de los flujos de CH₄, N₂O y CO₂

En lo que respecta al muestreo de gases, para el CO₂ se usó la cámara estática, la cual estaba conformada por un tubo de cloruro de polivinilo cilíndrico opaco con un diámetro medio de 36 cm y una altura efectiva de 50 cm. Adicionalmente, se equipó con un ventilador y un pequeño puerto de muestreo lateral para la toma de muestras. El procedimiento consistió en extraer el aire acumulado en el interior de la cámara utilizando una jeringa de 12 ml en distintos tiempos (0, 10, 20, 30 y 40 min). Las muestras se colocaron en un tubo al vacío de 10 ml y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Por otra parte, para la medición de CH₄ y N₂O se empleó un analizador de gases de efecto invernadero marca Los Gatos Research (LGR), el cual utiliza la tecnología de cavidad integrada fuera del eje espectroscopía de salida (por sus siglas en inglés: OA-ICOS). En este equipo la bomba interna del analizador extrae el gas por el puerto de entrada, lo arrastra hasta llegar al filtro de 10 μm, antes de ingresar al controlador de presión, el cual determina la tasa de flujo. Luego, el gas viaja por la celda óptica y es expulsado por el escape interno de la bomba. Los datos son anotados in situ y visualizados por medio de la computadora interna con la que cuenta el equipo. Al igual que en el método con cámara estática, se registraron los datos a los 0, 10, 20, 30 y 40 min.

Para determinar el CO₂ se utilizó el equipo *CO₂ meter Model CO250*, marca *EXTECH INSTRUMENTS*. Este utiliza tecnología de sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR, por sus siglas en inglés), el cual es sensible a la absorción de luz infrarroja de las moléculas de CO₂ en el aire contenidas en su celda óptica (Arzoumanian, *et al.*, 2019). Luego, por medio de la siguiente fórmula se determinó el flujo de cada gas en función del área y del tiempo:

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



$$E = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{VM}{AV_m} \quad [2]$$

Donde:

E= flujo de gas por unidad de área y tiempo

$\frac{dx}{dt}$ = tasa de acumulación del gas en el aire dentro del cámara expresado en partes por millón por minuto

V= volumen del gas expresado en litros

A= área de la cámara en m²

M= masa de N por cada mol N₂O o si es el caso de CH₄ o CO₂, masa de C por cada mol

V_m = Volumen molecular del gas, se calcula con la ecuación de los gases ideales

Análisis estadístico

La normalidad de los datos de flujos de CO₂, N₂O y CH₄ se analizó mediante la aplicación de la prueba de normalidad Anderson-Darling. Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la variación temporal de los flujos entre campañas de muestreo, y entre los diferentes tratamientos agrícolas. Finalmente, se identificaron las posibles correlaciones entre las variables medidas por medio de correlaciones de Pearson (Martínez, *et al.*, 2009). Para el análisis estadístico se utilizó el software *MINITAB STATISTICAL 19*.

Resultados y discusión

Propiedades de los suelos

Los valores promedio de textura registrados para los tres sitios (Tabla 5) resultaron no ser significativamente diferentes entre sí a un nivel de significancia del 5%, lo anterior debido probablemente, a la cercanía relativa entre estos y a que son suelos pertenecientes a un mismo orden. En cuanto a densidad aparente, el bosque secundario presenta los menores niveles y, por ende, un mayor porcentaje de retención de humedad.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Tabla 5.

Características generales de los suelos presentes en los tres sitios de monitoreo.

Parámetro	Unidades	Manejo de los sistemas			**Niveles críticos medios del contenido de nutrientes
		Convencional	Orgánico	Bosque	
Número de muestras		16	16	16	
Textura	--	A	FA, A	A	--
Densidad Aparente	gcm ⁻³	1.2 (0.3)	1.2 (0.3)	1.0 (0.1)	--
Humedad	%	49.7 (12.4)	51.3 (11.9)	68.8 (9.4)	--
pH	--	4.4 (0.1)	4.4 (0.3)	4.1 (0.2)	6.0-7.0
K	cmol(+)l ⁻¹	0.22 (0.03)	0.32 (0.06)	0.25 (0.08)	0.5-0.8
Ca	cmol(+)l ⁻¹	0.5 (0.5)	0.1 (0.5)	0.3 (0.2)	6.0-15.0
Mg	cmol(+)l ⁻¹	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)	0.2 (0.4)	3.0-6.0
Acidez	cmol(+)l ⁻¹	1.9 (0.6)	2.2 (0.9)	3.6 (0.4)	<0.3
Saturación Acidez	%	67.4 (10.4)	57.7 (14.1)	83.3 (4.4)	<10.0
P	mg.l ⁻¹	1.5 (0.6)	2.0 (1.4)	5.5 (1.7)	20.0-50.0
Fe	mg.l ⁻¹	84.5 (36.3)	102.0 (35.0)	26.3 (2.6)	10.0-50.0
Cu	mg.l ⁻¹	13.0 (1.6)	15.8 (1.6)	15.8 (7.3)	1.0-20.0
Zn	mg.l ⁻¹	3.0 (1.0)	3.1 (1.0)	2.4 (0.7)	3.0-10.0
Mn	mg.l ⁻¹	10.7 (26.7)	28.6 (28.0)	7.9 (2.2)	10.0-50.0
MO	%	3.4 (1.9)	5.4 (1.1)	5.9 (1.7)	5.0-10.0
C	%	2.5 (1.2)	3.8 (0.7)	4.1 (0.8)	1-3
N	%	0.2 (0.1)	0.3 (0.0)	0.3 (0.1)	0.5-0.8
C/N	--	11.9 (1.8)	12.2 (1.3)	12.5 (1.3)	10-12
CICE	cmol(+)l ⁻¹	2.8 (0.8)	3.6 (0.9)	4.3 (1.7)	5-12
Ca/Mg	--	3.5 (0.3)	5.4 (0.6)	1.7 (0.1)	2.0-5.0
Ca/K	--	2.2 (0.2)	3.4 (0.5)	1.5 (0.1)	50.0-25.0
Mg/K	--	0.6 (0.1)	0.6 (0.1)	0.9 (0.1)	2.5-15.0
Ca+Mg//K	--	1.1 (0.2)	1.6 (0.4)	1.2 (0.1)	10.0-40.0

Nota: El valor en paréntesis corresponde a la desviación estándar de los datos

**Referencia de los niveles críticos medios del contenido de nutrientes para fertilización (Bertsch, 1995 y Peña., 2017).

A: arcillosa, F: franca., CICE: capacidad de intercambio catiónico efectivo; el valor entre paréntesis corresponde a la desviación estándar.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

En general, los valores obtenidos de pH son bajos en los tres manejos; por lo tanto, son suelos muy ácidos. Además, los niveles de calcio y magnesio están por debajo de los valores óptimos, es decir, que existe un desbalance evidente en los tres manejos. En este punto es importante considerar también el tipo de suelo que se está analizando, ya que los tres suelos son altamente meteorizados. Los ultisoles se caracterizan por ser suelos viejos; se encuentran en lugares muy húmedos, lo que provoca que se laven las bases (sodio, potasio, calcio y magnesio). Tienen alto contenido de aluminio extraíble y son bajos en calcio; de ahí su nivel de acidez. Además, son suelos de texturas finas a muy finas y su alto contenido de arcillas facilita una buena estructura y un drenaje interno óptimo (INTA, 2014). Asimismo, la saturación de acidez suele superar el 50 %, lo que limita el aprovechamiento de elementos esenciales, como N, P K, y mejora la disponibilidad de microelementos o metales pesados, como Cu y Fe. Por tanto, el contenido de materia orgánica es muy bajo, y un aumento de esta posiblemente provoque acumulación y una degradación del medio, por la poca capacidad de mineralización del sustrato orgánico; es decir, la actividad microbiana se ve afectada y, por consiguiente, el sustrato dependerá del manejo y la cobertura.

Además, el estudio muestra las relaciones catiónicas en valores de desbalance entre cationes, con excepción de Ca/Mg. La relación C/N se califica como media, es decir, hay un suministro normal de nutrimentos al suelo por la descomposición de la materia orgánica. Otro dato relevante del estudio es que, en época lluviosa, se observa un alto equilibrio metabólico en los manejos más equilibrados (orgánico y bosque). Pero durante la época seca, es notoria una mayor mineralización en bosque con respecto a los otros sistemas de manejo (Figura 3), posiblemente debido a la mayor retención de humedad y al ciclaje de nutrimentos que se presentan en este ecosistema.

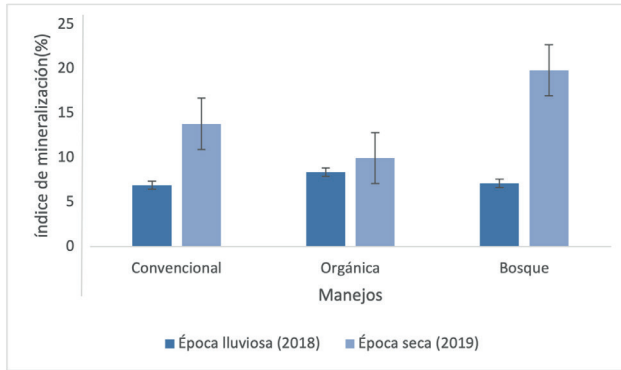
Emissiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Figura 3.

Variación estacional del índice de mineralización de los suelos para los tres sitios de monitoreo.



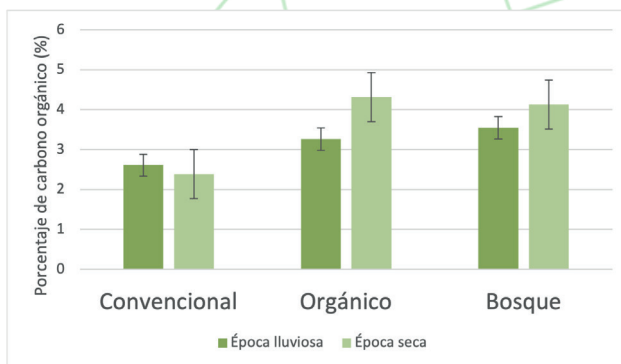
Fuente: Elaboración propia, 2020.

La mineralización en el sistema convencional resultó ligeramente superior en época seca que, para el tratamiento orgánico, lo cual se puede deber al estrés microbiano, que genera mayor cantidad de CO₂ por unidad de área.

Finalmente, el porcentaje de carbono orgánico en los dos manejos agrícolas fue muy similar durante la época lluviosa y seca. Este comportamiento se explica, como se mencionó, por la aplicación de abonos y materia orgánica (Figura 4). El bosque no es comparable, por ser un sistema equilibrado.

Figura 4.

Variación estacional del contenido de carbono orgánico para los suelos de los tres sitios de muestreo



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Medición de flujos de CH₄, N₂O y CO₂

Al analizar la distribución de los datos obtenidos para cada uno de los GEI por medio de la prueba Anderson-Darling, se infiere que los flujos de CO₂ y N₂O siguen una distribución normal, con un nivel de significancia de 5% para todas las campañas de muestreo en los distintos manejos agrícolas y de bosque secundario. En el caso del CH₄, no se realizó la prueba, dado que la mayoría de los datos se encuentran por debajo del límite de detección (4 mgm⁻²d⁻¹). En la tabla 6 se observan los promedios de los flujos obtenidos durante las campañas de muestreo, con su respectiva desviación estándar. La dispersión de los datos puede ser atribuida a las variaciones de los parámetros meteorológicos y las propiedades del suelo durante el ciclo de siembra, además de la variabilidad propia del sistema de medición.

Los flujos de emisión de CO₂ medidos en los suelos del bosque secundario resultaron ser mayores con un nivel de significancia del 5%, seguidos del manejo orgánico y los más bajos se registraron en el manejo convencional. El contenido de C en el suelo, que es la principal fuente de energía para los microorganismos del suelo que contribuyen a las emisiones de este gas, también mostró la misma tendencia (bosque secundario>manejo orgánico>manejo convencional). Tal como se indicó en la sección anterior, el suelo del bosque secundario resulto ser más ácido, además de poseer una menor densidad aparente, una relación C:N y una concentración de C más alta en comparación con los restantes manejos. Los resultados obtenidos son coincidentes con lo reportado por Arellano (2017), quien determinó que el flujo de CO₂ en pastizales, humedales y zonas de cultivo es menor al de los bosques.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
 Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
 Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Tabla 6.

Valores promedio (\pm DE) de flujos de emisión para CO₂, N₂O y CH₄ durante las campañas de muestreo en dos sistemas productivos de piña (fertilización química y orgánica) y un bosque secundario.

CO ₂ (mgm ⁻² d ⁻¹)			
Manejos	Convencional	Orgánico	Bosque
Nov. 2018	187 (80)	718 (13)	735 (495)
Dic. 2018	165 (28)	281 (165)	737 (356)
Mar. 2019	251 (189)	369 (307)	851 (647)
May. 2019	280 (144)	428 (272)	956 (237)
N ₂ O (mgm ⁻² d ⁻¹)			
Nov. 2018	24 (19)	161 (99)	76 (79)
Dic. 2018	5 (8)	137 (89)	38 (25)
Mar. 2019	3 (5)	11 (4)	3 (3)
May. 2019	27 (32)	23 (34)	59 (44)
CH ₄ (mgm ⁻² d ⁻¹)			
Nov. 2018	ND	ND	ND
Dic. 2018	ND	9 (4)	ND
Mar. 2019	ND	10 (3)	ND
May. 2019	18 (2)	ND	ND

Nota: ND: no detectable. Elaboración propia, 2020

El comportamiento de los flujos de CO₂ se puede deber al tipo de suelo, la cantidad de materia orgánica, la concentración de C, N, P y las condiciones de humedad en el suelo. La combinación de respiraciones autótrofas y heterótrofas en el suelo del bosque secundario probablemente podría explicar los mayores flujos de CO₂. Lo anterior también explica por qué el manejo orgánico obtuvo valores de flujos de CO₂ superiores al convencional, ya que la concentración de P (2.0 mg·l⁻¹), C (3.8 %), N (0.3 %) y el porcentaje de humedad (51.3%) mostraron valores superiores debido al uso de abonos con alto contenido de materia orgánica, pues tanto la respiración heterótrofa y autótrofa podrían haber sido estimuladas por la adición de compost orgánico incrementando el suministro de C lábil a los microorganismos del suelo, elevando la actividad microbiana y consecuentemente aumentando la tasa de respiración del suelo (Guerrero-Ortiz, et al., 2012).

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Las medias de los flujos de CO₂ obtenidas para cada una de las campañas de muestreo no resultaron ser significativamente diferentes entre sí ($p > 0.05$). Esto se puede deber a que el C es el factor más influyente en el comportamiento de los flujos de CO₂ y durante la investigación, este parámetro mostró una tendencia muy similar en los muestreos realizados tanto en la época seca como la lluviosa.

Los flujos de N₂O registraron valores mayores para el manejo orgánico en todas las campañas de muestreo, debido al hecho de que los desechos orgánicos suelen ser ricos en carbono y nitrógeno, y su adición aumenta el contenido de C lábil del suelo y acelera la actividad de los microorganismos del suelo, así como las tasas de nitrificación y desnitrificación (Jones *et al.*, 2005).

A diferencia de los patrones observados para las emisiones de CO₂, los flujos de N₂O presentaron variaciones significativas entre las medias para cada campaña. En esta investigación, el N₂O resultó ser más sensible a los cambios en la temperatura y a las condiciones climáticas (nivel de precipitaciones). Lo anterior se explica porque la producción de N₂O depende de la nitrificación y desnitrificación, y este último proceso ocurre bajo condiciones anaerobias (Berger, *et al.*, 2013). Por lo general, durante la época lluviosa se presenta un aumento del flujo de N₂O atribuido a un incremento de la actividad microbiana y, por lo tanto, a una descomposición más rápida de los residuos vegetales facilitada por un aumento de la humedad del suelo, lo que eleva la disponibilidad de N. Además, según Signor y Cerri (2013), la humedad del suelo afecta la difusión del gas del suelo, la disponibilidad de oxígeno (O₂) y el movimiento del sustrato necesario para el crecimiento y metabolismo microbiano.

Específicamente en cuanto a los flujos de N₂O en el manejo orgánico, se observa que durante la época lluviosa se produjo un crecimiento diferenciador. El acolchado plástico (que se utiliza para disminuir el crecimiento de maleza y, por ende, evitar el uso de herbicidas) puede haber influido en este proceso. Muchas investigaciones han evidenciado que el uso de una cobertura de plástico incrementa la temperatura y mejora la dinámica del agua en el suelo (Berger, *et al.*, 2013). Lo anterior, en conjunto con un alto contenido de nitrógeno inorgánico, materia orgánica y baja concentración de oxígeno en el suelo, puede facilitar la producción de N₂O en algunos suelos cubiertos. Además, según Uriza (2011), el acolchado plástico fomenta la formación de nitratos, cuyo proceso está asociado a la emisión de N₂O a la atmósfera.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
 Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Unido a lo anterior, los flujos de N_2O provenientes de suelos cultivados pueden aumentar tanto por la aplicación de fertilizantes como por fuertes lluvias. Esto explica los altos valores de N_2O durante la época lluviosa, sumado a los ya mencionados (manejo orgánico y acolchado plástico).

En síntesis, el manejo orgánico obtuvo los datos más altos de flujos de N_2O . A la vez, los flujos de los tres manejos fueron significativamente diferentes en las campañas realizadas en la época lluviosa con respecto a la seca. El manejo orgánico alcanzó los flujos de N_2O más altos durante la época lluviosa, mientras que el bosque obtuvo la concentración más alta de N_2O durante la época seca. Este aumento de N_2O en el manejo orgánico se relaciona con la aplicación de fertilizantes orgánicos en ese período.

Los flujos de emisión de CH_4 resultaron ser no detectables para cada uno de los tres manejos. En el caso del bosque es conocido que sus suelos funcionan más como un sumidero neto. Los altos niveles de humedad en los suelos puede ser una variable limitante para la metanogénesis, que necesita condiciones anóxicas durante un cierto período hasta que se establezcan las arqueas metanogénicas (Serrano-Silva, *et al.*, 2014). Tanto en los manejos orgánicos como convencionales, la labranza continua interfiere con la estructura del suelo, afectando así el microambiente que favorece a los metanótrofos (Jacinthe, *et al.*, 2014).

Correlación entre variables

Al realizar el análisis de Pearson, se puede observar que la materia orgánica tuvo una correlación positiva significativa con los flujos de CO_2 (Tabla 7). La relación entre los flujos de este gas y la materia orgánica obedece a los procesos de descomposición, a través de la respiración metabólica de la comunidad de microorganismos, así como el aumento en la concentración de C, tal y como fue el comportamiento de los flujos durante los muestreos. De igual forma se presenta una correlación positiva débil con la acidez y la humedad del suelo, factores que también afectan la actividad microbiana que influye en los procesos de descomposición tanto de los residuos añadidos al suelo como del material humificado (Arellano, 2017)

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Tabla 7.

Correlaciones de Pearson entre las propiedades del suelo y los flujos de CO₂

Variable	Flujos de CO ₂ Correlación
pH	0.152 (0.091)
Densidad aparente	0.175 (0.413)
Acidez	0.369 (0.076)
Humedad	0.349 (0.094)
Materia orgánica	0.558 (0.005)
Carbono orgánico	0.197 (0.357)
Fósforo	0.214 (0.316)

Nota: **El valor entre paréntesis corresponde al valor de p. Elaboración propia, 2020

La densidad aparente tuvo una correlación negativa con los flujos de N₂O generados en el bosque secundario y en el manejo convencional (Tabla 8). Es decir, cuando la densidad aparente es baja, los flujos de N₂O aumentan. Ante esta relación, Klefoth, *et al.* (2014), mencionan que una baja densidad aparente implica suelos porosos y buena aireación, lo que favorece la difusión de los gases y la retención de agua en los poros del suelo. El contenido de materia orgánica del suelo no parece ser un factor principal que afecte los flujos de emisión de N₂O. Por otra parte, el pH mostró una correlación negativa débil con respecto a los flujos de emisión que se puede explicar por la correlación negativa de este parámetro con la relación N₂O/(N₂+N₂O). Resulta rescatable el rol de la humedad del suelo en la generación del óxido nitroso, ya que es bien conocido que valores elevados de este parámetro generan condiciones de anaerobiosis que favorecen la desnitrificación y por lo tanto una mayor emisión de N₂O (Mora, *et al.*, 2005). Este efecto se percibe con mayor fuerza en los suelos del bosque secundario donde se registran los mayores valores de humedad.

Por otro lado, el contenido de P tuvo una correlación positiva fuerte entre los flujos de N₂O en el bosque y moderada en el caso de los manejos convencional y orgánico. Lo que coincide con lo reportado por Mori, *et al.* (2017) y Mori, *et al.* (2013), ya que la adición de P aumenta las emisiones de N₂O, lo que sugiere que P estimula el ciclo de N, activando las bacterias nitrificantes y/o desnitrificantes y estimulando el consumo de O₂ por actividades heterotróficas, lo que ocasiona una condición más reductiva adecuada para el proceso de desnitrificación.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Tabla 8.

Correlaciones de Pearson entre las propiedades del suelo y los flujos de N₂O

Variables	Flujos de N ₂ O		
	Convencional	Orgánico	Bosque
pH	-0.456 (0.713)	-0.419 (0.301)	-0.224 (0.954)
Densidad aparente	-0.275 (0.509)	0.076 (0.233)	-0.667 (0.071)
Acidez	-0.024 (0.955)	0.167 (0.693)	-0.524 (0.183)
Humedad	0.115 (0.787)	0.323 (0.271)	0.444 (0.435)
Materia orgánica	-0.108 (0.799)	-0.071 (0.867)	-0.357 (0.385)
Carbono orgánico	0.314 (0.449)	-0.074 (0.861)	-0.206 (0.624)
Fósforo	0.338 (0.928)	0.396 (0.933)	0.549 (0.159)

Nota: **El valor entre paréntesis corresponde al valor de p. Elaboración propia, 2020

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que los flujos de emisión de cada uno de los gases evaluados presentan un comportamiento diferenciado, tanto en su variación temporal como en la definición de las variables de influencia asociadas a las características del suelo. De esta forma los flujos de CO₂ mostraron una relación directa con la concentración de C orgánico en los suelos, el cual no varió durante las campañas de medición propiciando que los flujos no presentaran cambios significativos entre épocas del año. Los mayores flujos de este gas se registraron en el bosque secundario debido probablemente a una mayor actividad microbiana, provocada por sus altos contenidos de materia orgánica, humedad, N y P, en comparación con los manejos agrícolas del cultivo de piña. Por su parte, los flujos de N₂O si registraron variaciones entre épocas, por lo que se concluye que las condiciones climáticas, como los cambios de temperatura y la humedad influyen en la generación de este gas. Además, por los datos obtenidos durante la época lluviosa en el manejo orgánico, se infiere que el uso de acolchado plástico ocasiona microclimas que favorece la actividad microbiana provocando mayores flujos. Para este gas, la humedad del suelo, el pH y su contenido de P resultaron ser las variables determinantes de los flujos de emisión.

El manejo convencional se caracterizó por tener menor cantidad de humedad, materia y carbono orgánicos, lo que disminuye la actividad microbiana y

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

genera mayores emisiones de GEI. Además, el índice de mineralización indicó un mayor desequilibrio entre la época seca y la época lluviosa en el manejo convencional, debido al manejo de suelos labrados y al uso de productos químicos. No obstante, para el estudio de GEI, es necesario realizar un monitoreo más prolongado con el fin de aumentar la representatividad en los datos y así poder validar las correlaciones encontradas con las propiedades del suelo, el manejo y las condiciones climáticas. Lo anterior debido a las variaciones temporales y espaciales del suelo, a su complejidad y a la diversidad de microorganismos que lo habitan.

Referencias

- Arellano-Martín, F. (2017). *Flujo de CO₂ del suelo en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán, México*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY. Yucatán, México. 6 p.
- Andrades, M., Moliner, A. y Masaguer, A. (2015). *Prácticas de Edafología: métodos didácticos para análisis de suelos*. España, Universidad de la Rioja. 25 p.
- Arzoumanian, E., Vogel, F. R., Bastos, A., Gaynullin, B., Laurent, O., Ramonet, M., y Ciais, P. (2019). *Characterization of a commercial lower-cost medium-precision non-dispersive infrared sensor for atmospheric CO₂ monitoring in urban areas*. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12 (5), 2665-2677.
- Berger, S., Kim, Y., Kettering, J., y Gebauer, G. (2013). *Plastic mulching in agriculture—Friend or foe of N₂O emissions*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 167, 43-51.
- Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, C.R. 157 p.
- Brenes, L. (2015). *Composición florística y estructura horizontal de dos fragmentos de bosque tropical con características distintas en el Refugio de Vida Silvestre Lapa Verde, Puerto Viejo, Sarapiquí* (Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales). Universidad Estatal a Distancia. 23 p.
- Choo, L. N. L. K., y Ahmed, O. (2017). *Nitrous Oxide Emission of a Tropical Peat Soil Grown with Pineapple at Saratok, Malaysia*. *Sustainable Agriculture Research*, 6 (3), 75 p.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



- Choo, L. N.L.K, y Ahmed, O. H. (2014). *Partitioning Carbon Dioxide Emission and Assessing Dissolved Organic Carbon Leaching of a Drained Peatland Cultivated with Pineapple at Saratok, Malaysia*. The Scientific World Journal; Hindawi.
- Echeverría, S.; Mena, F.; Pinnock, M.; Ruepert, C.; Solano, K.; De la Cruz, E.; Campos, B.; Sánchez, J.; Lacorte, S. y Barata, C. (2012). Environmental hazards of pesticides from pineapple crop production in the Río Jiménez watershed. *Science of the total environmental*. 440: 106-114.
- FAO. (2014). Anuario Estadístico de la FAO. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 140 p.
- Guerrero-Ortiz, P., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G. y Sánchez-Colín, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana de abonos orgánicos de Luínus. *Terra Latinoamericana*. 30 (4): 355-362.
- Gregorio, J., Lanza, P., Churión, C., y Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de 33 proteínas en distintas clases de alimentos. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 28 (2): 245-249.
- INTA. (2014). Boletín Técnico 1 Suelos de Costa Rica: Orden Ultisol. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Plataforma de Tecnología, Información y Comunicación Agropecuaria y Rural. (en línea) Costa Rica. Consultado el 3 marzo 2020. <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/07/00517-boletin-suelos-de-cr.pdf>
- IRET. (2016). Highly Hazardous Pesticides phase out and alternatives in Costa Rica. Universidad Nacional. (en línea) Costa Rica. Consultado el 3 marzo 2020. Disponible en <https://www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/HHP-Phase-Out-and-Alternatives-in-Costa-Rica-Project-Intro.pdf>
- Jacinthe, P., Dick, W., Lal, R., Shrestha, R., Bilen, S. (2014). Effects of No-till Duration on the Methane Oxidation Capacity of Alfisols. *Biological Fertilization Soils*, 50, 477-486, <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0866-7>.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

- Jones, S., Rees, R., Skiba, U., Ball, B. (2005). *Greenhouse gas emissions from a managed grassland* *Global Planet Change*, 47 , 201-211
- Klefoth, R., Clough, T., Oenema, O., y Van Groenigen, J. W. (2014). Soil Bulk Density and Moisture Content Influence Relative Gas Diffusivity and the Reduction of Nitrogen-15 Nitrous Oxide. *Vadose Zone Journal*, 13 (11).
- Martínez, R., Pendás, L., C, L., Martínez, M., Pérez, A., y Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2).
- Mata, R.; Rosales, A.; Vasquez, A. y DAngelo, S. (2013). Mapa de suelos de Costa Rica según Soil Taxonomy USDA (en línea) Costa Rica. Consultado el 3 marzo 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1630.pdf>
- Mora, S., Sandoval, M., Gavi, F., Sánchez, P. (2005). Emisión de N₂O con fertilización nitrogenada en fertirriego y fertilización convencional. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21(1), 23-29.
- Mori, T., Ohta, S., Ishizuka, S., Konda, R., Wicaksono, A., Heriyanto, J., Hamotani, Y., Gobara, Y., Kawabata, C., Kuwashima, K., Nakayama, Y., y Hardjono, A. (2013). Soil greenhouse gas fluxes and C stocks as affected by phosphorus addition in a newly established *Acacia mangium* plantation in Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 310, 643-651.
- Mori, T., Wachrinrat, C., Staporn, D., Meunpong, P., Suebsai, W., Matsubara, K., Boonsri, K., Lumban, W., Kuawong, M., Phukdee, T., Srifai, J., y Boonman, K. (2017). Effects of phosphorus addition on nitrogen cycle and fluxes of N₂O and CH₄ in tropical tree plantation soils in Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 51(2), 91-95.
- Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P., Scialabba, N. (2009). Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *Ökologie & Landbau*, 141, 32-33.
- Parrado, C. (2015). *Flujos de gases efecto invernadero y lixiviación de nutrientes en agroecosistemas de rosas de corte en la Sabana de Bogotá*. Tesis Doc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 1 p.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

- Peña, W. (2017). *Edafología del trópico*. San José, Costa Rica: EUNED. 25 p.
- Sánchez, B. (2019). *Deuda piñera: Costa Rica continúa sin medir impacto en la salud de las comunidades contaminadas* (en línea). Consultado el 3 marzo 2020. <https://delfino.cr/2019/11/deuda-pinera-costa-rica-continua-sin-medir-impacto-en-la-salud-de-las-comunidades-contaminadas>
- Sánchez-Navarro, V., Zornoza, R., Faz, A., Fernández, J. (2020). A comparative greenhouse gas emissions study of legume and non-legume crops grown using organic and conventional fertilizers. *Scientia Horticulturae*, 260, 108902.
- Sarauskis, E., Buragiene, S., Romaneckas, K., Sakalauskas, A., Jasinskas, E., Vaiciukevicius, D. (2012). Working time, fuel consumption and economic analysis of different tillage and sowing systems in Lithuania. Engineering for Rural Development Proceedings of 11th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development. *Jelgava, Latvia*, 11, 52-59.
- Schaufler, G., Kitzler, B. Schindlbacher, A. Skiba, U., Sutton, M. y Zechmeister-Boltenstern, S. (2010). Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *European Journal of Soil Science*. 61 (5): 683-696.
- Scherr, S., Shames, S., Friedman, R. (2012). *From climate-smart agriculture to climate-smart landscapes*. Agriculture and Food Security. 1, 12.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA]. (2020). Informe Comercio Exterior del Sector Agropecuario 2017-2018 (en línea). Consultado el 3 marzo 2020. http://www.sepsa.go.cr/docs/2019-004Comercio_Exterior_Sector_Agropecuario_2017-2018.pdf
- Serrano-Silva, N., Sarria-Guzmán, Y., Dendooven, L., Luna-Guido, M. (2014). *Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review*, *Pedosphere*, 24, 291-307, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60016-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60016-3).
- Signor, D., y Cerri, C. E. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: A review. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 43: 322-338.

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

- Uriza, D. (2011). Paquete tecnológico piña MD2. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.
- Valverde, K., Porras, M. y Jiménez, A. (2016). Nuevos estudios sobre el impacto ambiental de la actividad piñera. Contribución especial realizada para el Vigésimo segundo Informe Estado de la Nación. San José, Costa Rica. Estado de la Nación. 238 p.
- Vargas, C., Miller, C. y Arguedas, C. (2020). Informe: monitoreo del estado de la piña en Costa Rica para el año 2018. Informe técnico presentado al PNUD dentro del marco del MOCUPP. (en línea) Consultado el 3 marzo 2020. <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/7892>
- World Meteorological Organization (WMO). (2009). Construcción de Comunidades Resilientes a las Inundaciones en la Región de Sarapiquí. Costa Rica. (en línea) Consultado el 3 marzo 2020. https://www.wmo.int/pages/prog/drr/projects/CostaRica/Documents/CostaRicaProject_esp.pdf

Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) derivadas de dos tipos de fertilización del cultivo de piña ...
Sofía Coto Brenes, Jorge Herrera Murillo y Wagner Peña Cordero



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.